

AE



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ Patentschrift
⑩ DE 43 24 755 C 1

⑤1 Int. Cl.⁵:
B 22 F 5/00
B 22 F 3/14
B 22 F 7/02
F 01 D 5/02
C 22 C 1/09

⑳ Aktenzeichen: P 43 24 755.5-24
㉑ Anmeldetag: 23. 7. 93
㉒ Offenlegungstag: —
㉓ Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 22. 9. 94

DE 43 24 755 C 1

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden.

⑦3 Patentinhaber:

MTU Motoren- und Turbinen-Union München GmbH,
80995 München, DE

⑦2 Erfinder:

Wei, William, Dr., 80804 München, DE; Krüger,
Wolfgang, 85293 Reichertshausen, DE

⑤6 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit
in Betracht gezogene Druckschriften:

US	47 33 816
US	44 99 156
US	38 41 942

⑤4 Verfahren zur Herstellung faserverstärkter Triebwerkskomponenten

⑤7 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von faserverstärkten Triebwerkskomponenten aus einer Legierungsmatrix. Zunächst wird eine lange bis endlose Siliziumkarbidfaser durch Aufstäuben oder Bedampfen mit einer Matrix aus einer Titanbasislegierung beschichtet. Anschließend werden die mit Matrixmaterial beschichteten Fasern auf eine Vorform in Winkeln zur Hauptachse der Vorform aufgewickelt. Danach wird eine Abdeckung mittels Folien, Bändern, Drähten, aufgesinterten Pulvern oder der aus der Matrixlegierung auf die Oberfläche der bewickelten Form aufgebracht und abschließend wird die Form mit den aufgewickelten und mit der Matrixlegierung beschichteten Fasern und der Abdeckung aus Matrixmetall heißisostatisch gepreßt. Dieses Verfahren wird zur Herstellung von Triebwerkswellen, Deckbändern für Laufräder oder von scheibenlosen Laufrädern aus Ringen mit Schaufeln angewandt.

DE 43 24 755 C 1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von faserverstärkten Triebwerkskomponenten aus einer Legierungsmatrix.

Die Herstellung faserverstärkter Folien, Bleche oder Bänder mit einer Metallmatrix ist aus US-PS-4,499,156 und US-PS-4,733,816 bekannt, wobei als Verstärkung Siliziumkarbidfasern, siliziumbeschichtete Siliziumkarbidfasern, siliziumkarbidbeschichtete Borfasern oder borkarbidbeschichtete Borfasern und zur Herstellung der Metallmatrix Folien, Bleche oder Bänder aus Titanbasislegierungen eingesetzt werden. Dabei wird die Metallmatrix mit einer Vorrichtung, wie sie US-PS-3,841,942 offenbart, zwischen und auf die Fasern heißgepreßt. Der Nachteil derartiger Folien, Bleche oder Bänder ist, daß eine Weiterverarbeitung zu ringförmigen Triebwerkskomponenten nur für einfachste Geometrien und Querschnitte der Ringe geeignet ist. Ein schmelzmetallurgisches Herstellungsverfahren von komplexeren Ring- oder Wellenquerschnitten, wie sie bei Triebwerkskomponenten auftreten ist aufgrund der heftigen Reaktion der Titanschmelze mit den Siliziumkarbidfasern nicht anwendbar.

Das bekannte Heißpreßverfahren hat den Nachteil, daß es relativ aufwendig ist, da mehrere Schritte zum Aufbau der Faser-/Folienstruktur nötig werden. Ferner sind der erzielbare Faservolumenanteil und die resultierenden mechanischen Eigenschaften begrenzt, da die dichteste Packung der Fasern nicht erreicht werden kann. Der Abstand zwischen den Fasern kann nicht konstant gehalten werden und eine Faserberührung ist nicht immer zu vermeiden. Faserberührung und gebrochene Fasern führen u. a. zu Ermüdungsanrissen und einer Verkürzung der Lebensdauer der Triebwerkskomponente. Die gezielte Ausrichtung der Fasern in die benötigten Richtungen ist ebenfalls nur begrenzt möglich.

Aufgabe der Erfindung ist es, die Nachteile der bisherigen Verfahren zu überwinden und ein Verfahren anzugeben mit dem zylindrische oder ringförmige Triebwerkskomponenten mit komplexen Querschnitten aus faserverstärkten Titanbasislegierungen mit hohem Faservolumenanteil und gesicherter Beabstandung zwischen den Fasern herstellbar werden.

Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren mit folgenden Verfahrensschritten gelöst:

- a) Beschichten einer langen bis endlosen Siliziumkarbidfaser durch Aufstäuben oder Bedampfen mit einer Matrix aus einer Titanbasislegierung,
- b) Wickeln der mit der Matrixlegierung beschichteten Faser auf eine zylindrische oder ringförmige Vorform einer Triebwerkskomponente in Winkeln zur Hauptachse der Vorform,
- c) Aufbringen einer zumindest teilweisen Abdeckung mittels Folien, Bändern, Drähten, aufgesinterter Pulvern oder einer durch Atomisieren aufgetragenen Beschichtung aus Matrixlegierung auf die Oberfläche der Wicklungen der bewickelten Vorform,
- d) heißisostatisches Pressen der gemäß c) zumindest teilweise abgedeckten Vorform mit den aufgewickelten und mit der Matrixlegierung beschichteten Fasern und der Abdeckung aus der Matrixlegierung.

Die Herstellung von Bauteilen durch Wickeln mit ei-

ner kontinuierlichen und mit der Matrixlegierung beschichteten Faser bei abschließendem heißisostatischen Pressen hat erhebliche Vorteile gegenüber den bekannten Herstellungsverfahren, bei denen Fasern ohne Matrixbeschichtung zwischen Blechen oder Folien aus Matrixmetall heißgepreßt werden. Die Wickeltechnik von einzelnen mit Matrixmetall beschichteten Fasern erlaubt die Herstellung komplexer Strukturen, insbesondere von zylindrischen Bauteilen mit komplexen Querschnitten. Ein gleichmäßiger Abstand zwischen den Fasern ist durch die Beschichtung der Fasern mit Matrixmaterial gewährleistet. Es kann ein hoher Volumenanteil der Fasern erzielt werden und die Zahl der Herstellungsschritte ist äußerst begrenzt. Außerdem können die Fasern in jeder erforderlichen Richtung in Winkeln zur Hauptachse der Vorform gewickelt werden, wobei das Wickeln in Richtung der Hauptbetriebsbelastungen vorteilhaft die Festigkeit in diesen Richtungen steigert.

Das Beschichten der Fasern mit der Matrixlegierung kann entweder auf statische oder dynamische Weise erfolgen. Beim statischen oder diskontinuierlichen Beschichten werden die Fasern in Windungen gelegt und beschichtet. Dazu werden die Fasern außerhalb oder innerhalb eines Spulenträgers zylindrisch aufgewickelt und je nach Beschichtungsverfahren ruhend oder rotierend in einzelnen Beschichtungskammern im Chargierverfahren beschichtet.

Beim dynamischen Beschichten werden Endlosfasern kontinuierlich beschichtet, wobei die Endlosfasern vorzugsweise durch mehrere Beschichtungszonen einer Beschichtungsanlage gezogen werden.

In einem bevorzugten Verfahren werden auf die Form vor dem Aufwickeln der beschichteten Faser, Folien, Bänder oder Drähte aus der Matrixlegierung aufgewickelt oder Pulver aus der Matrixlegierung aufgepreßt oder aufgesintert oder eine durch Atomisierung erzeugte Beschichtung aus der Matrixlegierung aufgebracht. Das hat den Vorteil, daß nach dem heißisostatischen Pressen die Komponente auf den Flächen, die der Form zugewandt sind, eine dicke Schicht aus Matrixmetall aufweist, die formgebend, spanabhebend oder glättend nachbearbeitet werden kann.

Vorzugsweise wird das Volumenverhältnis zwischen Fasermaterial und Matrixlegierung durch Änderung der Beschichtungsdicke im Verhältnis zum Faserdurchmesser variiert. Das hat den Vorteil, daß kein Matrixmaterial in Pulverform oder in Folienform zugegeben werden muß, womit sonst die gleichmäßige Beabstandung der Fasern im Matrixwerkstoff gefährdet wird.

Ein bevorzugtes Volumenverhältnis zwischen Fasermaterial und Matrixlegierung wird zwischen 1 : 3 und 1 : 0,45 eingestellt, wobei vorteilhaft die unterste, erreichbare, theoretische Grenze für das Volumenverhältnis von 1 : 0,1 nahezu erreicht wird.

In einem weiteren bevorzugten Verfahren wird die Form aus der Matrixlegierung hergestellt und kann damit vorteilhaft als Container beim heißisostatischen Pressen dienen. Die fertige Komponente erhält damit bearbeitbare Außenkonturen die frei von Fasern nachbearbeitet werden können.

Eine bevorzugte Verwendung des Verfahrens ist die Herstellung von Triebwerkswellen. Dazu kann die mit dem Matrixmaterial beschichtete Faser auf ein zylindrisches oder konisches Rohr gewickelt werden. Die unterschiedlichsten Durchmesserstufen und Wellennuten sowie Wellenwulste können problemlos beim Wickeln ausgebildet werden. Die Wickelrichtung einzelner Wickellagen kann der Lastverteilung auf der Welle vorteil-

haft angepaßt werden.

Eine weitere bevorzugte Verwendung des Verfahrens ist die Herstellung von nicht segmentierten, geschlossenen Deckbändern für Laufradschaufeln. Diese Deckbänder verbinden die Schaufelspitzen und weisen zum Turbinengehäuse hin speziell ausgeformte Dichtspitzen auf. Bei der bisher bekannten Technik setzen sich die Deckbänder aus Segmenten zusammen, wobei jedes Segment mit einer Schaufelblattspitze fest verbunden ist. Ein geschlossener Ring hat gegenüber der herkömmlichen Lösung erhebliche Vorteile.

Das erfindungsgemäße Verfahren wird vorzugsweise zur Herstellung scheibenloser Laufräder aus Ringen mit Schaufeln eingesetzt. Aufgrund der hohen Zugfestigkeit der Komponenten aus faserverstärkte Titanbasislegierungen ist es vorteilhaft möglich, statt der schweren Laufradscheiben, Aussparungen für Halteringe an den Schaufelfüßen vorzusehen. Werden diese Halteringe mit dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellt, so ergibt sich gegenüber der herkömmlichen Laufradscheibe vorteilhaft eine große Gewichtseinsparung.

Die folgenden Zeichnungen zeigen Anwendungsbeispiele des erfindungsgemäßen Verfahrens.

Fig. 1 zeigt einen Querschnitt durch eine Turbinenwelle.

Fig. 2 zeigt eine Queransicht eines scheibenlosen Laufrads.

Fig. 3 zeigt eine Queransicht eines scheibenlosen Laufrads mit Deckband.

Fig. 1 zeigt einen Querschnitt durch eine Turbinenwelle 1 aus einer faserverstärkten Titanbasislegierung mit eingestanzten Stufen 2, 3, 4, 5 und 6, sowie einer Nut 7, Lagersitzen 8, 9 und eingestanztem Antriebs- 10 und Abtriebsritzel 11.

Zur Herstellung der Welle werden zunächst lange bis endlose Siliziumkarbidfasern durch Aufstäuben oder Bedampfen mit einer Matrix aus einer Titanbasislegierung beschichtet. Beispielsweise wird bei einer Beschichtungsgeschwindigkeit von 30 µm/Stunde Ti_6Al_4V oder $TiAl$ auf die Siliziumkarbidfaser bei einem Unterdruck von 0,1 mPa aufgestäubt bis eine Matrixmetallstärke von 30 µm erreicht ist. Für das Beschichten wird die Faser 13, 14, 15 auf eine Temperatur von 300 bis 600° erhitzt.

Anschließend werden die mit Matrixmaterial beschichteten Fasern 13, 14 und 15 auf ein Rohr 12 als Form in Richtung der erwarteten Belastungen mittels einer Wickelanlage gewickelt (Fasern 14) und soweit erforderlich um das Rohr in Längsrichtung gelegt (Fasern 13). Die gewickelten Fasern 14 werden vorzugsweise zur Aufnahme von Torsionsspannungen in einem Winkel von 30 bis 60 Grad zur Achsrichtung der Welle in Kreuzlagen gewickelt. Im Randbereich der Stufen 2, 3, 4, 5 und 6 und der Nut 7 werden die mit Matrixmetall beschichteten Fasern 15 quer zur Wellenachse gewickelt und mit nicht gezeigten Hilfsformen beim Wickeln in Position gehalten.

Im Bereich des Antriebs- 10 und des Abtriebsritzels 11 wird eine Abdeckung mittels Folien, Bändern, Drähten, aufgesinterten Pulvern oder einer durch Atomisierung aufgetragenen Beschichtung aus Matrixmetall auf die Oberfläche der bewickelten Form aufgebracht. Die Dicke der Abdeckung wird so bemessen, daß ein Antriebs- oder Abtriebsritzel nach dem heißisostatischen Pressen im Bereich des Abdeckungsmaterials herausgearbeitet werden kann, ohne daß Fasermaterial berührt wird.

Vor dem heißisostatischen Pressen wird die bewickel-

te Form in einen Container eingebracht. Das Containermaterial kann vorzugsweise aus der Matrixlegierung bestehen, so daß eine Trennung von Container und bewickelter Form nicht erforderlich wird, zumal in diesem Beispiel die Form ein Rohr 12 aus Matrixmaterial ist.

Nach dem heißisostatischen Pressen der Form mit den aufgewickelten und mit Matrixmaterial beschichteten Fasern und der Abdeckung aus der Matrixlegierung verringert sich der Abstand zwischen den Fasern auf 50 µm.

Fig. 2 zeigt eine Queransicht eines scheibenlosen Laufrads 20. Statt der sonst gebräuchlichen Laufradscheibe, in der die Schaufeln 21 mit ihrem Schaufelfuß 22 eingehängt werden, weisen bei der erfindungsgemäßen Lösung die Schaufelfüße 22 Aussparungen 23 auf, die bei der Aneinanderreihung der Schaufeln zu einem Schaufelrad Ringnuten bilden. In diese Ringnuten werden Ringe 24, 25, die nach dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellt werden, eingebracht. Diese Ringe übernehmen die Funktion der wesentlich schwereren Radscheibe eines Laufrades in einem Triebwerk und halten die Schaufeln 21 in Position.

Fig. 3 zeigt eine Queransicht eines scheibenlosen Laufrads 20 mit Deckband 30. Dieses Deckband 30 umschließt die Spitzen der Laufschaufeln 21 und weist Dichtspitzen 31 auf, die eine Spaltdichtung zum nicht gezeigten Gehäuse des Triebwerks hin bilden. Sowohl das Deckband als auch die Dichtspitzen wurden mit dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellt.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung von faserverstärkten Triebwerkskomponenten aus einer Legierungsmatrix, gekennzeichnet durch folgende Verfahrensschritte,

- a) Beschichten einer langen bis endlosen Siliziumkarbidfaser durch Aufstäuben oder Bedampfen mit einer Matrix aus einer Titanbasislegierung,
- b) Wickeln der mit der Matrixlegierung beschichteten Fasern auf eine zylindrische oder ringförmige Vorform einer Triebwerkskomponente in Winkeln zur Hauptachse der Vorform,
- c) Aufbringen einer zumindest teilweisen Abdeckung mittels Folien, Bändern, Drähten, aufgesinterten Pulvern oder einer durch Atomisierung aufgetragenen Beschichtung aus Matrixlegierung auf die Oberfläche der bewickelten Vorform,
- d) heißisostatisches Pressen der gemäß c) zumindest teilweise abgedeckten Vorform mit den aufgewickelten und mit der Matrixlegierung beschichteten Fasern und der Abdeckung aus der Matrixlegierung.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Beschichten der Fasern diskontinuierlich mittels Chargierverfahren erfolgt, wobei die Faser in Windungen gelegt und beschichtet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Beschichten der Fasern kontinuierlich erfolgt, wobei Endlosfasern durch mehrere Beschichtungszonen einer Beschichtungsanlage gezogen und dabei beschichtet werden.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Form vor dem

Aufwickeln der beschichteten Fasern mit Folien, Bändern, Drähten, aufgesinterten oder mit einer durch Atomisierung erzeugte Beschichtung aus der Matrixlegierung belegt wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, 5
dadurch gekennzeichnet, daß das Volumenverhältnis zwischen Fasermaterial und Matrixlegierung durch Änderung der Beschichtungsstärke im Verhältnis zum Faserdurchmesser variiert wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, 10
dadurch gekennzeichnet, daß ein Volumenverhältnis zwischen Fasermaterial und Matrixlegierung zwischen 1 : 3 und 1 : 0,45 eingestellt wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, 15
dadurch gekennzeichnet, daß die Form aus der Matrixlegierung hergestellt wird.

8. Verwendung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 7 zur Herstellung von Triebwerkswellen.

9. Verwendung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 7 zur Herstellung von nicht segmentierten, geschlossenen Deckbändern für Laufradschaufeln. 20

10. Verwendung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 7 zur Herstellung von scheibenlosen Laufrädern aus Ringen mit Schaufeln. 25

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

30

35

40

45

50

55

60

65

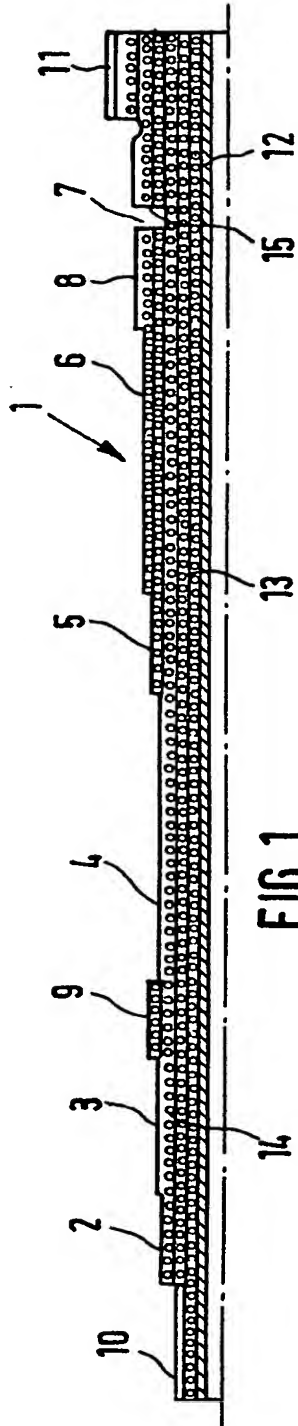


FIG. 1

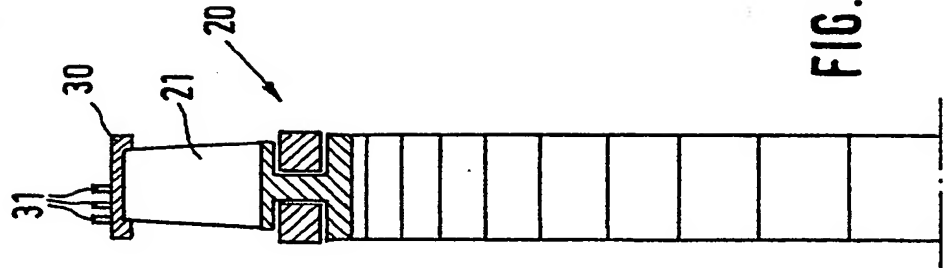


FIG. 3

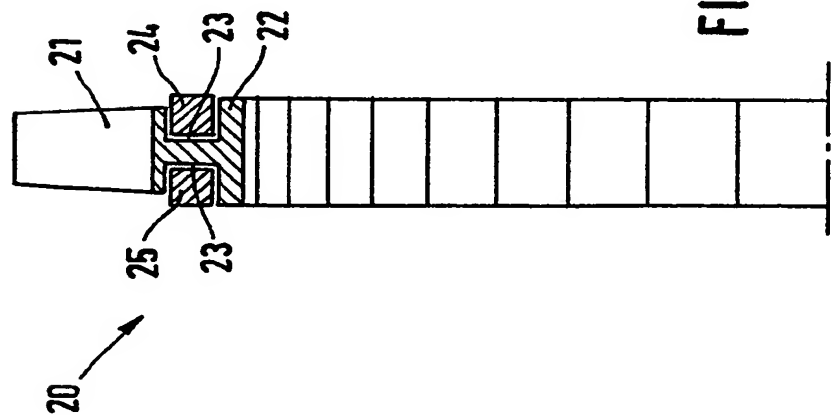


FIG. 2